

Minimização da produção de lodo em sistema piloto de lodos ativados utilizando o processo *oxic-settling-anaerobic*

Natalia Fernanda Conrado da Rosa

Natalia Fernanda Conrado da Rosa

**MINIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LODO EM SISTEMA
PILOTO DE LODOS ATIVADOS UTILIZANDO O
PROCESSO *OXIC-SETTLING-ANAEROBIC***

Trabalho apresentado à
Universidade Federal de Santa
Catarina Para a Conclusão do
Curso de Graduação em
Engenharia Sanitária e Ambiental.
Orientadora: Dr.^a Cláudia Lavina
Martins

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Rosa, Natalia Fernanda Conrado da
Minimização da produção de lodo em sistema piloto de
lodos ativados utilizando o processo oxic-settling
anaerobic / Natalia Fernanda Conrado da Rosa ;
orientadora, Cláudia Lavina Martins - Florianópolis, SC,
2015.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico.
Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. lodos ativados
. 3. minimização de lodo. 4. Oxic-Settling-Anaerobic. I.
Martins, Cláudia Lavina. II. Universidade Federal de Santa
Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental.
III. Título.

Natalia Fernanda Conrado da Rosa

**MINIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE LODO EM SISTEMA
PILOTO DE LODOS ATIVADOS UTILIZANDO O
PROCESSO OXIC-SETTLING-ANAEROBIC**

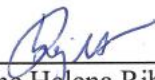
Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos para Conclusão do Curso de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental – TCC II.

Florianópolis, 03 de dezembro de 2015.

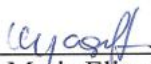


Dr.^a Cláudia Lavina Martins
Orientadora

Banca Examinadora:



Prof.^a Dr.^a Rejane Helena Ribeiro Da Costa
(Membro da Banca)



Prof.^a Dr.^a Maria Eliza Nagel Hassemer
(Membro da Banca)

Dedico este trabalho aos meus pais, meus irmãos e ao meu esposo, por todo apoio que me deram para realização do sonho de me tornar Engenheira Sanitarista e Ambiental.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus por me conceder a vida e as oportunidades que tive ao longo de minha jornada, que me fizeram chegar até aqui.

Agradeço aos meus pais Valmir e Irene, que me deram todo o amor e me incentivaram e apoiaram em tudo que precisei na conquista da minha formação profissional. Sem dúvida esta conquista não seria possível sem a participação deles, que não mediram esforços para me proporcionar as condições necessárias para a realização deste sonho.

Agradeço aos meus irmãos Richard, Lisane e Jaqueline que me ofereceram ajuda e suporte sempre que precisei. Com certeza vocês foram exemplos para mim durante toda a minha vida e me sinto honrada em concluir com vocês a realização do sonho de nossos pais, de ver todos os filhos com formação superior.

Agradeço ao meu esposo Guilherme, que esteve ao meu lado desde o início da graduação, quando iniciamos namoro, acompanhando e partilhando das alegrias e dificuldades que enfrentei ao longo destes anos. Obrigada por renunciar ao que fosse preciso para estar ao meu lado nos momentos de estudo, por toda compreensão, carinho e amor que contribuíram para esta conquista.

Agradeço a Cláudia, orientadora deste trabalho, pela oportunidade de realizar esta pesquisa, que foi uma experiência de imenso aprendizado para mim. Obrigada por confiar no meu trabalho, por tudo que me ensinou e por estar sempre disponível para tirar minhas dúvidas.

Agradeço a Prof.^a Rejane, pela oportunidade de participar do LABEFLU, por disponibilizar tudo que fosse necessário para a realização da pesquisa e pelo apoio prestado na elaboração deste trabalho.

Agradeço à Luiza Pollmann, estagiária voluntária do LABEFLU, que participou das atividades laboratoriais deste trabalho. Obrigada pelo grande auxílio prestado, pela dedicação, companhia e por se tornar minha amiga. Agradeço também às estagiárias voluntárias Luiza Denardin e Júlia Ronchi pelo período que igualmente contribuíram com atividades deste trabalho.

Agradeço a Jéssica e a Katiane, mestrandas do LABEFLU, bem como a Elaine e ao Maurício do LIMA pela assistência e cooperação nas atividades laboratoriais deste trabalho e pelo convívio amigável e alegre.

Agradeço a todos os amigos da minha turma (2010/2) e a todos os amigos que fiz ao longo do curso, por tornar a caminhada da graduação mais suave e divertida.

RESUMO

O grande volume de lodo gerado é um dos grandes desafios das estações de tratamentos de efluentes, uma vez que seu tratamento e disposição final defrontam altos custos econômicos e questões regulatórias ambientais cada vez mais restritivas. Desta forma, é cada vez maior o número de pesquisas científicas destinadas a encontrar tecnologias para reduzir a produção deste resíduo no momento em que o efluente é tratado. O presente estudo teve como objetivos avaliar o desempenho do processo OSA (*Oxic-Settling-Anaerobic*) na minimização da produção de lodo em um sistema piloto de tratamento de esgoto sanitário por lodos ativados e avaliar a eficiência do tratamento com a aplicação do processo. O experimento consistiu basicamente na inserção de um reator anaeróbio na linha de recirculação de lodos do sistema, onde o lodo permanecia por um TDH de 12 horas até retornar ao reator aeróbio. Os resultados mostraram que o efluente final obtido com tratamento foi de boa qualidade com eficiências de remoção dos parâmetros SST, DQO, DBO₅, NTK e N-NH₄⁺ superiores a 80%. As análises microbiológicas revelaram a presença regular de flocos densos e microrganismos indicadores de estabilidade no sistema de tratamento. A microscopia também apontou presença de microrganismos filamentosos, que estiveram fortemente presentes em boa parte do período experimental, prejudicando a sedimentabilidade do lodo. A produção de lodo alcançada foi de 0,190 g SST/g DQO, com minimização na produção de lodo de 49% em comparação ao ensaio de referência, consolidando resultados obtidos em outros estudos e apontando o processo OSA como uma técnica eficiente de minimização.

Palavras-chave: lodos ativados, minimização de lodos, *Oxic-Settling-Anaerobic*

ABSTRACT

The large volume of sludge generated is one of the major challenges in wastewater treatment plants (WWTP), once its treatment and final disposal faces high costs and environmental regulatory issues increasingly restrictive. There is therefore, an increasing number of scientific researches aimed at identifying technologies to reduce the production of this waste at the time the effluent is treated. The present study aimed to evaluate OSA process performance (Oxic-Settling-Anaerobic) on minimization of sludge production in a pilot scale system of sewage treatment by activated sludge and evaluate treatment efficiency with the use of the process. The experiment consisted basically in the insertion of an anaerobic reactor on sludge recirculation line, where the sludge remained for 12 hours until return to the aerobic reactor. The results showed that the final effluent from treatment was of good quality. Microbiological analyses revealed the presence of dense and regular micro-organisms indicators of stability in the system. Microscopy also showed the presence of filamentous microorganisms, which were heavily present throughout much of the experimental period, impairing the settleability of sludge. The sludge production achieved was 0.190 g TSS/g COD, with 49% of sludge minimization compared to the reference test, consolidating results obtained in other studies and pointing the OSA process as an efficient sludge minimization technique.

Keywords: activated sludge, sludge minimization, Oxic-Settling-Anaerobic

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 - Esquema das unidades do sistema de lodos ativados.....	27
Figura 4.2 - Esquema simplificado das fontes de produção de lodo no tratamento biológico de efluentes. Fonte: Velho (2015)	33
Figura 5.1 - Foto da Unidade Piloto. Reator aeróbio (TA), decantador secundário (DS), Reator Anaeróbio (TM). Fonte: Próprio Autor	37
Figura 5.2 - Fluxograma de operação em condições de lodo ativados convencional. Fonte: Adaptado de Pires (2014).....	39
Figura 5.3 – Fluxograma de operação do processo OSA. Fonte: Adaptado de Pires (2014)	39
Figura 5.4 – Fotografias de microscopia, aumentos de 100 e 400x: (a) <i>Epistylis</i> sp. (100x) (b) colônia de <i>Epistylis</i> sp. (100x) (c) <i>Vorticellas</i> sp. (400x) (d) <i>Aspidisca</i> sp. (100x) (e) Colônia de rotíferos aderidos ao floco (400x). (f) <i>Tokophyra</i> sp. (400x) (g) <i>Litonotus</i> sp. (100x) (h) bactérias filamentosas (100x).....	53
Figura 5.5 – Coeficiente de Produção Celular observado (Y_{obs}) obtidos no ensaio de referência de Pires (2014) e no presente trabalho ($OSA_{12horas}$)	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Eficiências típicas dos sistemas de Lodos Ativados.....	28
Tabela 4.2 - Interpretação dos resultados de IVL.....	29
Tabela 5.1 – Condições operacionais estabelecidas	39
Tabela 5.2 - Parâmetros físico-químicos analisados, pontos de amostragem, metodologias e frequências analítica	41
Tabela 5.3 – Caracterização do afluente utilizado no experimento	46
Tabela 5.4 – Resultados de OD, temperatura e pH medidos no reator..	46
Tabela 5.5 – Resultados de OD e ORP medidos no reator anaeróbio ...	47
Tabela 5.6 – Concentrações de SST, SSV e SSF no afluente e no efluente.....	48
Tabela 5.7 - Concentrações de SST, SSV e SSF nos pontos TA, DS e TM.....	49
Tabela 5.8 - Concentrações de DQO, DQO _s e DBO ₅ no afluente e no efluente (valor médio \pm desvio padrão) e respectivas eficiência de remoção.	49
Tabela 5.9 – Resultados de IVL, relação A/M e idade do lodo.....	50
Tabela 5.10 - Concentrações de NTK, N-NH ₄ ⁺ , N-NO ₂ ⁻ e N-NO ₃ ⁻ no afluente e no efluente (valor médio \pm desvio padrão) e respectivas eficiência	51
Tabela 5.11 - Concentrações de PT _{Totais} , PT _{Solúveis} , PS _{Totais} e PS _{Solúveis} nos pontos TA, DS e TM (valor médio \pm desvio padrão).	54
Tabela 5.12 - Concentrações de PT _{Totais} , PT _{Solúveis} , PS _{Totais} e PS _{Solúveis} nos pontos TA e DS no ensaio de referência e no ensaio de minimização de Pires (2014).....	55
Tabela 5.13 - Valores de Y _{obs} obtidos no “Ensaio de referência” de Pires (2014) e no presente trabalho (OSA _{12horas})	55
Tabela 5.14 – Comparação de resultados de minimização da produção de lodo entre diferentes autores.....	58

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	21
2. JUSTIFICATIVA.....	23
3. OBJETIVOS.....	25
3.1 OBJETIVO GERAL.....	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
4.1 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO.....	25
4.2 LODOS ATIVADOS	26
4.3 PRODUÇÃO DE LODO	30
4.3.1 <i>Minimização da Produção de lodo</i>	33
4.4 PROCESSO OXIC-SETTLING-ANAEROBIC (OSA)	34
5. METODOLOGIA	37
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE PILOTO	37
5.2 SISTEMA DE OPERAÇÃO DA UNIDADE PILOTO	38
5.3 MONITORAMENTO DO SISTEMA	40
5.3.1 <i>Parâmetros físico-químicos</i>	40
5.3.2 <i>Parâmetros microbiológicos</i>	40
5.3.3 <i>Parâmetros Operacionais</i>	43
5.3.3.1 Índice volumétrico de lodo	43
5.3.3.2 Carga orgânica volumétrica.....	43
5.3.3.3 Relação alimento/microrganismo	43
5.3.3.4 Tempo de detenção hidráulica	44
5.3.3.5 Idade do lodo	44
5.3.3.6 Coeficiente de produção celular observado (Yobs) ...	44
5.3.3.7 Cálculo de eficiências.....	45
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
6.1 CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE.....	45
6.2 OXIGÊNIO DISSOLVIDO, TEMPERATURA, pH E POTENCIAL DE OXIRREDUÇÃO.....	46
6.3 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS ...	48
6.4 DQO E DBO.....	49
6.5 IVL, RELAÇÃO A/M E IDADE DO LODO	50
6.6 NTK, AMÔNIA, NITRITO E NITRATO	51
6.7 MICROSCOPIA ÓPTICA	52

6.8	PROTEÍNAS E POLISSACARÍDEOS.....	54
6.9	COEFICIENTE DE PRODUÇÃO CELULAR OBSERVADO	
	55	
7.	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	59
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61

1. INTRODUÇÃO

O sistema de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados é amplamente utilizado em todo o mundo, por ter alto desempenho de remoção de nutrientes, ocupando um volume relativamente pequeno quando comparado à grande maioria dos sistemas de tratamento. A recirculação de lodo, particularidade desse tipo de tratamento, é o principal determinante dessa alta eficiência, pois o lodo gerado no processo de digestão biológica permanece no sistema mais tempo que o líquido, garantindo assim que a biomassa tenha tempo suficiente para digerir a matéria orgânica presente no efluente. Contudo o sistema apresenta alguns aspectos inconvenientes, que são a operação e manutenção, que requerem altos custos energéticos, e a produção de grandes quantidades de lodo no tratamento (VON SPERLING, 2012).

O lodo gerado em estações de tratamentos de efluentes é um passivo ambiental, exigindo tratamento e destinação final adequados, conforme a legislação. Dentre os tratamentos mais comuns para o lodo gerado nos processos de tratamento estão a estabilização, secagem e redução de volume do lodo (através de opções como leitos de secagem, centrífugas, prensas, adensadores, etc.), higienização (quando a disposição final exigir tal tratamento). Após os tratamentos, o lodo segue para destinação final, geralmente aterros sanitários (VON SPERLING, 2014).

Embora o lodo gerado represente apenas uma pequena fração do volume do esgoto tratado, cerca de 1% a 2%, o custo total do seu complexo gerenciamento pode representar mais da metade do total gasto em uma estação de tratamento de efluentes (ANDREOLI et al., 2014; WANG et al., 2015). Logo, estudos de processos que reduzam a produção deste resíduo durante o processo de tratamento do efluente são extremamente importantes do ponto de vista econômico e também do ponto de vista ambiental.

O processo de minimização da produção de lodo *Oxic-Settling-Anaerobic* (OSA) é uma modificação da tecnologia convencional de lodos ativados pela inserção de um reator anaeróbio na linha de recirculação de lodo, ou seja, o lodo do decantador secundário é encaminhado para um reator anaeróbio antes de retornar ao reator aeróbio (LIU e TAY, 2001). A técnica, que recorre à sensibilidade da biomassa heterotrófica à oferta de oxigênio, destaca-se dentre outros processos existentes, por ser eficiente na redução da produção de lodo, mantendo ou até melhorando a qualidade do efluente tratado, sem necessitar de adição de produtos químicos (PIRES, 2014).

O presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) avalia o desempenho do processo OSA em um sistema piloto de tratamento de esgoto sanitário do tipo lodos ativados desenvolvido no Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O LABEFLU vem realizando pesquisas sobre a minimização da produção de lodo em reatores de lodo ativados desde 2010, que resultaram nos trabalhos: “Estudo de Alternativas para Minimização do Excesso de Lodo Produzido em Estação de Lodos Ativados” de Oselame (2010), “Análise Comparativa de Técnicas Para Minimização da Produção de Lodo em Sistemas de Lodos Ativados” de Daudt (2013), “Avaliação de Processo de Lodos Ativados com Aplicação de Ácido Fólico como Estratégia de Minimização da Produção de Lodo” de Ramos (2014), “Aplicação do processo *Oxic-Settling-Anoxic* para a minimização da produção de lamas ativadas” de Pires (2014) e “Estudo da Minimização Da Produção de Lodo em Sistemas de Lodos Ativados para Esgotos Sanitários” de Velho (2015).

Neste contexto, surge o presente trabalho, inserido no projeto de pesquisas com o tema: “Estudos sobre Gerenciamento de Lodos Produzidos na Estação de Tratamento de Esgotos Insular/CASAN” desenvolvido na UFSC. O trabalho objetiva avaliar o desempenho do processo OSA na minimização da produção de lodo em um sistema piloto de tratamento de esgoto sanitário por lodos ativados e avaliar a eficiência do tratamento com a aplicação do processo, utilizando tempo detenção hidráulica de 12 horas no reator anaeróbio.

2. JUSTIFICATIVA

O crescimento do número de estações de tratamento de esgotos (ETE), em decorrência da tendência mundial de busca por melhores condições sanitárias e ambientais, culminou no aumento da produção de lodo proveniente de ETES. Em 2005 a União Européia produziu 10 milhões de toneladas de lodo seco (SEMBLANTE et al., 2014). A China gerou 11,2 milhões de toneladas de matéria seca no ano de 2010. Estima-se que os Estados Unidos da América (EUA) tenham produzido 6,9 a 7,6 milhões de toneladas de matéria seca entre os anos de 2005 e 2010, enquanto a produção no Canadá foi de aproximadamente 0,4 milhões de toneladas no período (FOLADORI et al., 2010 apud Pires, 2014). No Brasil atualmente são produzidas por dia em torno de 90 a 350 mil toneladas de lodo líquido e cerca de 9 a 13 mil toneladas de lodo seco (ANDREOLI et al., 2014).

O lodo gerado é um resíduo sólido e a legislação brasileira confere a responsabilidade pelos problemas que podem ser causados pelo destino inadequado do resíduo aos seus produtores, que podem ser enquadrados na lei de crimes ambientais (Lei nº 9.605/1998).

O gerenciamento do lodo produzido é um grande desafio para as estações de tratamento de esgotos, uma vez que acarreta em altos custos e defronta legislações cada vez mais restritivas devido aos riscos ambientais envolvidos no manejo do lodo (ANDREOLI et al., 2014). Diante disto, estudos com objetivo de encontrar técnicas que promovam a redução da produção de lodo nos sistemas de tratamento de esgotos são de grande relevância.

No Brasil e no mundo, o sistema de lodos ativados é o mais utilizado para o tratamento biológico de esgotos sanitários e efluentes industriais. Embora possua alta eficiência, o processo gera grande produção de lodo (COMA et al., 2013). O processo OSA, que é uma técnica de minimização da produção de lodos baseada em uma modificação do sistema de lodos ativados, surge como uma alternativa viável para reduzir o problema.

Desta forma, este trabalho visa contribuir na consolidação do conhecimento científico a cerca do processo OSA como técnica de minimização da produção de lodos, exibindo resultados obtidos para a configuração de funcionamento do processo analisada.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a aplicação do processo *Oxic-Settling-Anaerobic* (OSA), como técnica de minimização da produção de lodo, em sistema piloto de tratamento de esgoto sanitário por lodos ativados.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar o desempenho do sistema piloto de lodos ativados no tratamento de esgoto sanitário com a aplicação do processo OSA, através de análises físico-químicas e microbiológicas;
- Verificar a redução da produção de lodo obtida no sistema de lodos ativados com a aplicação do processo OSA, utilizando-se tempo de detenção hidráulica de 12 horas em reator anaeróbio.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Segundo a NBR 9648 (ABNT, 1986) esgoto sanitário é o despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária. O esgoto sanitário contém aproximadamente 99,9% de água. A parte restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, combinados com microrganismos. É devido a este 0,1% que existe a necessidade de se tratar os esgotos (JORDÃO e PESSÔA, 1995).

O esgoto sanitário é caracterizado em termos de sua composição química, física e biológica. Os principais constituintes dos esgotos são os sólidos em suspensão ou dissolvidos (totais, fixos e voláteis), matéria orgânica (principalmente proteínas, carboidratos e lipídeos), nutrientes (nitrogênio e fósforo), organismos patogênicos e metais pesados (METCALF & EDDY, 2003).

O tratamento de esgotos é usualmente classificado através de níveis de tratamento que são associados a padrões de qualidade de remoção de poluentes. O tratamento em nível “preliminar” visa a remoção de sólidos grosseiros, o tratamento em nível “primário” visa a

remoção de sólidos sedimentáveis e consequentemente parte da matéria orgânica. Em ambos, tratamento preliminar e primário, predominam mecanismos físicos de remoção dos poluentes. O tratamento em nível secundário objetiva a remoção de matéria orgânica e possivelmente de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e tem predominância de mecanismos biológicos. Já o tratamento em nível terciário visa à remoção de poluentes específicos, geralmente compostos tóxicos ou não biodegradáveis, ou mesmo apenas complementar o tratamento secundário (VON SPERLIN, 2014)

O tratamento de esgotos pode ser realizado por via físico-química ou biológica. A escolha do processo leva em conta, além do tipo de efluente a tratar, a sua biodegradabilidade, a presença de toxinas, a produção de lodos, etc. O processo biológico é em geral escolhido para o tratamento de efluentes sanitários e certos tipos de efluentes industriais em virtude de seu menor custo de funcionamento e sua simplicidade operacional. Dentre os processos biológicos existentes, o processo biológico mais amplamente utilizado é o tratamento por lodos ativados (MOTTA et al., 2003).

O tratamento de esgoto por meio biológico reproduz, de certa forma, os processos naturais que ocorrem em um corpo d'água após o despejo de efluentes. A compreensão da microbiologia do tratamento dos esgotos é, portanto, essencial para a otimização do projeto e operação dos sistemas de tratamento biológico, que contam com bactérias, protozoários, fungos, algas e vermes como principais organismos envolvidos (VON SPERLING, 1996).

Diferentes opções de tratamento têm diferentes características de desempenho e também diferentes impactos diretos sobre o meio ambiente. Sendo a minimização de impactos ambientais uma das principais funções dos sistemas de tratamento de águas residuais, os mesmos devem ser projetados de forma que seu impacto total sobre o meio ambiente seja reduzido (DIXON et al., 2003).

4.2 LODOS ATIVADOS

Os sistemas de lodos ativados são os mais extensamente utilizados em todo o mundo para o tratamento de esgotos sanitários. Isto se deve principalmente à alta eficiência atingida com esse tipo de sistema e aos baixos requisitos de área para sua implantação, em comparação com outros tipos de sistemas de tratamento. O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos existentes nos esgotos, por meio de uma diversificada

população microbiana, mantida em suspensão em meio aeróbio (BENTO et al., 2005).

A grande produção de lodo biológico é uma das características dos sistemas de lodos ativados, estando a produção em um intervalo de aproximadamente $0,7$ a $1,5 \text{ m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (METCALF & EDDY, 2003).

O sistema de lodos ativados conta com um reator aeróbio, um decantador secundário e sistema de recirculação de lodos, conforme apresentado na Figura 4.1. No reator aeróbio ocorrem reações bioquímicas de remoção da matéria orgânica e, sob determinadas condições, da matéria nitrogenada. O substrato presente no esgoto bruto é utilizado pela biomassa, para seu desenvolvimento. Em seguida, ocorre sedimentação dos sólidos presentes (biomassa) no decantador secundário, resultando em um efluente final clarificado (VON SPERLING, 2012). Os sólidos sedimentados no decantador secundário são, em sua quase totalidade, recirculados ao reator aeróbio, exceto por uma fração (lodo excedente) descartada do sistema. O propósito da recirculação do lodo é manter uma concentração de biomassa específica no reator aeróbio e a finalidade do descarte de lodo excedente é controlar a idade do lodo para que o sistema funcione satisfatoriamente. (CHON et al., 2012).

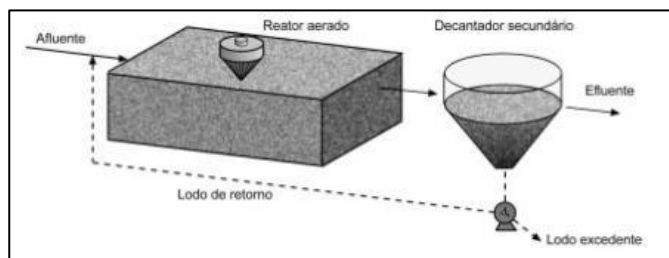


Figura 4.1 - Esquema das unidades do sistema de lodos ativados

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2012)

A recirculação de lodos faz com que a concentração de sólidos suspensos no reator aeróbio seja muito elevada. O tempo de detenção hidráulica (TDH) é curto, da ordem de algumas horas, o que permite que o volume do reator seja reduzido. Contudo, devido à recirculação de lodos, os sólidos permanecem no sistema por mais tempo que o líquido. É esta maior permanência dos sólidos no sistema que proporciona sua elevada eficiência, uma vez que a biomassa possui tempo suficiente para metabolizar praticamente toda a matéria orgânica presente no esgoto (VON SPERLING, 2012).

A idade do lodo é tempo de retenção dos sólidos no sistema e através deste parâmetro o sistema de lodos ativados pode ser classificado como convencional (idade do lodo da ordem de 4 a 10 dias) ou de aeração prolongada (idade do lodo da ordem de 18 a 30 dias) (VON SPERLING, 2012). De acordo com Chon et al. (2011) o tempo de retenção de sólidos é razão entre a massa total de sólidos presentes no reator e a massa total de sólidos removida diariamente no sistema de lodos ativados.

Na Tabela 4.1 são apresentadas eficiências típicas dos sistemas de lodos ativados para os principais parâmetros de análise.

Tabela 4.1 - Eficiências típicas dos sistemas de Lodos Ativados

PARÂMETRO	EFICIÊNCIAS DE REMOÇÃO (%)	
	Sistema	Sistema de Aeração
	Convencional	Prolongada
DBO	85-95	93-98
DQO	85-90	90-95
Sólidos em Suspensão	85-95	85-95
Amônia	85-95	90-95
Nitrogênio	25-30	15-25
Fósforo	25-30	10-20

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2012)

A relação A/M (alimento/microrganismo) é um parâmetro importante que se relaciona com a eficiência do sistema de tratamento, definida como a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) fornecida a um valor unitário de biomassa. Quanto maior a relação A/M, menor será a eficiência na assimilação deste substrato, uma vez que há mais substrato que a capacidade de assimilação. Porém, elevados valores da relação A/M implicam em menores exigências de volume para o reator. Ao contrário, quanto menor a relação A/M, ou seja, menor DBO viabilizada às bactérias, maior será a competição pelo alimento, implicando numa maior eficiência na remoção de DBO, acompanhada de maior exigência de volume para o reator. O mecanismo de respiração endógena, típico dos sistemas com aeração prolongada, prevalece quando a quantidade de alimento fornecida é consideravelmente baixa. Nos sistemas de aeração prolongada, a relação A/M assume geralmente valor entre 0,08 a 0,15 kg DBO₅ kg⁻¹ SST d⁻¹, enquanto nos sistemas convencionais a relação em geral assume valor entre 0,3 a 0,8 kg DBO₅ kg⁻¹ SST d⁻¹ (VON SPERLING, 2012).

O Índice Volumétrico de Lodo (IVL) é um parâmetro popularmente utilizado para a quantificação das propriedades do lodo, particularmente sua sedimentabilidade, aplicado largamente no controle do processo de lodos ativados. O IVL é definido como a razão entre o volume de lodo que sedimenta após 30 minutos em uma proveta graduada de 1.000 ml e a concentração de sólidos em suspensão nessa amostra. (JORDÃO et al., 1997). A interpretação do IVL permite verificar o desempenho da sedimentabilidade do lodo, de forma que, quanto maior o valor do IVL, pior é a sedimentabilidade do lodo e maior será o volume ocupado pelo lodo no decantador secundário (VON SPERLING, 2012). A Tabela 4.2 apresenta a interpretações aproximadas de valores de IVL, de acordo com Von Sperling (2012).

Tabela 4.2 - Interpretação dos resultados de IVL

SEDIMENTABILIDADE	IVL (ml/g)
Ótima	0 – 50
Boa	50 – 100
Média	100 – 200
Ruim	200 – 300
Péssima	> 300

Fonte: Adaptado de Von Sperling (2012)

O sistema de aeração deve fornecer a quantidade de oxigênio necessária para que os microrganismos oxidem a matéria orgânica. Devido às dificuldades existentes na transferência de oxigênio gasoso para o líquido apenas uma pequena quantidade do oxigênio fornecido é utilizado pelos microrganismos, logo o fornecimento de oxigênio deve ser superior ao utilizado. Os valor de oxigênio dissolvido no reator aeróbio deve ser mantido pelo menos entre 1,5 e 2,0 mg/L, para evitar que ocorra o comprometimento da biomassa presente, favorecendo o desenvolvimento excessivo de organismos filamentosos, que predominam sobre outros organismos nesta situação, caracterizando o chamado *bulking* filamentoso (METCALF & EDDY, 2003).

O sistema de lodos ativados envolve um complexo ecossistema, constituído por variados tipos de microrganismos, como bactérias, protozoários e metazoários. A ocorrência de desequilíbrios entre os diferentes tipos de microrganismos causam perturbações ao desempenho do sistema. Por esta razão, avaliação da comunidade microbiana por microscopia é uma forma útil para um diagnóstico rápido do mau funcionamento do sistema (MESQUITA et al., 2013). Segundo Bento et al. 2005), apesar de a análise microscópica ser um instrumento de

grande importância, seu uso ainda não é amplamente difundido no Brasil.

Quanto à remoção biológica de nitrogênio, em sistemas de lodos ativados é possível alcançar satisfatória conversão de amônia para nitrato (processo de nitrificação). Assim, há uma conversão da forma do nitrogênio, mas não sua remoção completa, que se alcança somente com um processo subsequente, chamado desnitrificação, que ocorre em condições anóxicas (ausência de oxigênio, mas presença de nitratos), onde bactérias utilizam nitratos em sua respiração, convertendo-os em nitrogênio gasoso que é liberado para atmosfera. A remoção biológica de fósforo pode ocorrer através de processos que induzem a remoção conjunta de nitrogênio e fósforo. A remoção isolada de fósforo é de difícil realização devido a presença de nitratos na zona anaeróbia que dificultam o processo (VON SPERLING, 2012).

4.3 PRODUÇÃO DE LODO

Os subprodutos sólidos do tratamento de esgotos são usualmente denominados “lodo”. A princípio, todos os tratamentos biológicos geram lodo. Os processos de tratamento que possuem decantadores primários geram o “lodo primário”, constituído pelos sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. O lodo secundário, biológico ou excedente é a própria biomassa que cresceu pelo consumo do alimento fornecido pelo afluente bruto. Quando há mistura entre lodos primários e secundários o lodo passa a ser designado “lodo misto”. Há ainda “lodos químicos” provenientes de sistemas que incorporam produtos químicos para aprimorar o desempenho de decantação, e os lodos constituídos pelos sólidos grosseiros da fase preliminar de tratamento de esgotos (VON SPERLING, 2014).

A produção de lodo proveniente de estações de tratamento de esgotos vem sofrendo um forte incremento no Brasil, em virtude da crescente ampliação dos serviços de coleta e tratamento de esgotos. No país atualmente são produzidas por dia em torno de 90 a 350 mil toneladas de lodo líquido e cerca de 9 a 13 mil toneladas de lodo desaguado, a serem tratadas e dispostas. Embora a quantidade de lodo produzida represente apenas cerca de 1% a 2% do volume do esgoto tratado, o seu gerenciamento tem um custo geralmente entre 40% a 60% do valor total gasto com a operação de uma estação de tratamento de esgoto (ANDREOLI et al., 2014; WANG et al., 2015). Consequentemente a produção de lodo em excesso se mostra um dos mais sérios desafios dos tratamentos biológicos de efluentes, devido aos

fatores econômicos e ambientais envolvidos e exigências legais aplicadas no tratamento e disposição final do lodo. Desta forma, existe grande interesse no desenvolvimento de estudos que explorem e desenvolvam tecnologias para minimizar a produção de lodo durante o processo de tratamento do efluente (WEI et al., 2003).

A composição do lodo varia conforme as características do esgoto bruto e do sistema de tratamento aplicado. Alguns componentes atribuem características fertilizantes ao lodo, outros, porém, apresentam características tóxicas apresentando potencial impacto sanitário e ambiental. Deste modo, o gerenciamento do lodo de estações de tratamento de esgotos é uma atividade que deve ser executada de forma adequada, caso contrário, poderão ser comprometidos os benefícios sanitários e ambientais destes sistemas (ANDREOLI et al., 2014).

O lodo produzido deve receber tratamento e disposição final, que consistem no gerenciamento do lodo. A escolha dos processos de tratamento a serem utilizados irá depender do tipo e quantidade de lodo gerado, ou seja, do tipo de sistema de tratamento de efluentes em questão, da etapa de tratamento subsequente a que o lodo será conduzido e da sua destinação final. As principais etapas de tratamento do lodo são: adensamento (objetiva remover umidade e assim reduzir o volume de lodo), estabilização (objetiva remoção da matéria orgânica), condicionamento (preparação do lodo para a desidratação), desidratação (objetiva remover umidade e reduzir o volume de lodo) e higienização (remoção de organismos patogênicos). A partir daí o lodo segue para a destinação final, que pode ser aterro sanitário, a reciclagem agrícola, *landfarming* (disposição no solo), incineração, usos industriais, etc. (ANDREOLI et al., 2014).

O lodo tratado é um resíduo sólido cuja destinação final é uma questão complexa, uma vez que existem problemas agregados às escolhas. A disposição no solo torna-se cada vez mais impraticável devido ao alto custo de aquisição de terras, riscos à saúde humana envolvidos devido a elementos potencialmente tóxicos presentes em lodos, tais quais metais pesados e organismos patogênicos, e restrições governamentais aplicadas à atividade. A incineração gera cinzas, que necessitam ser encaminhadas para aterros sanitários (WEI et al., 2003). A reciclagem agrícola do lodo como fertilizante é uma opção interessante do ponto de vista que agrega valor econômico ao resíduo, no entanto a prática apresenta riscos envolvidos devido à possibilidade do lodo conter metais pesados e traços de produtos químicos potencialmente tóxicos, culminando em risco de circulação e acumulação de substâncias nocivas no ambiente e nos produtos

alimentares. Além disso, o uso agrícola normalmente necessita de transporte do lodo a longas distâncias até o local de utilização (SEMBLANTE et al., 2014).

A produção de lodo biológico ou biomassa, pode se apresentar em função da remoção de substrato, de forma que quanto maior for a assimilação de substrato, maior será a taxa de crescimento bacteriano, ou coeficiente de produção celular (Y), podendo ser calculado pela razão entre sólidos suspensos voláteis (SSV) e a demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5). Modelos mais recentes utilizam no cálculo a demanda química de oxigênio (DQO) ao invés da DBO_5 . (VON SPERLING, 2012). A estimativa da produção de biomassa também pode ser dada em função do coeficiente de produção celular observado (Y_{obs}). De acordo com Chon et al. (2011) Y_{obs} é produção de sólidos levando em consideração a parcela de sólidos inertes e lentamente biodegradáveis no sistema, podendo ser determinado pela razão entre os sólidos formados acumulados e o substrato consumido acumulado ($g\ SST/g\ DQO$).

O decaimento biológico, resultante de restrições ambientais e outros fatores simultaneamente à produção de biomassa via reações metabólicas (catabolismo e anabolismo), ocasiona liberação de matéria orgânica no meio líquido, a qual pode ser reutilizada pela biomassa para geração de mais células (“crescimento críptico”). Durante o processo são geradas duas frações de sólidos no sistema: DQO particulada biodegradável e DQO particulada inerte, que tende a se acumular no sistema. Dessa forma, pode-se afirmar que a produção de lodo biológico em excesso é devida às seguintes frações: ao crescimento e ao decaimento da biomassa; ao acúmulo de resíduos endógeno inertes; e ao acúmulo de inertes presentes no afluente (FOLADORI et al., 2010, apud VELHO, 2015). A Figura 4.2 apresenta um esquema simplificado destes processos que levam à geração de lodo nos sistemas de tratamento biológico de efluentes.

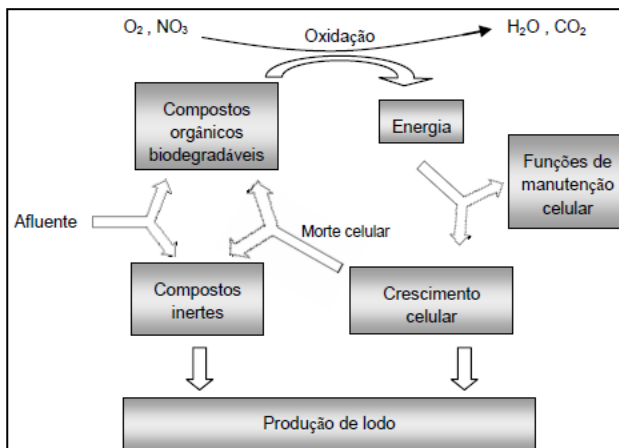


Figura 4.2 - Esquema simplificado das fontes de produção de lodo no tratamento biológico de efluentes. Fonte: Velho (2015)

4.3.1 Minimização da Produção de lodo

Como mencionado no subcapítulo anterior, esforços consideráveis têm sido feitos no sentido de desenvolver técnicas de minimização da produção de lodo em tratamentos biológicos de esgotos. A procura consiste em encontrar meios de reduzir a produção de lodo sem afetar as características de sedimentação do lodo e consequentemente a qualidade do efluente tratado, e que possuam vantajosa relação custo/benefício em sua implantação (EASWARAN, 2006).

Há um número considerável de técnicas baseadas em métodos físicos, químicos, mecânicos, térmicos e biológicos para minimização da produção de lodo em sistemas de tratamento de efluentes. Estas tecnologias apresentam em geral bons resultados na redução da produção de lodo, contudo demonstram causar interferências negativas sobre o sistema de tratamento do efluente, possuir alto custo operacional e ainda gerar subprodutos tóxicos (SABY et al., 2002). A maior parte destas tecnologias é focada em solubilizar sólidos, desintegrar a estrutura biológica do floco e causar ruptura de células bacterianas, e como exemplo pode-se citar processos que envolvem aplicação de gás ozônio, cloração, desintegração ultrassônica, metabolismo desacoplado e aplicação de ácido fólico. Compreende-se que os mecanismos envolvidos nestes processos se dão por meio da oxidação do material

orgânico ou pela lise celular bacteriana, tornando a massa global do sistema mais biodegradável (VELHO, 2015; WEI et al., 2003).

A redução da produção de lodo é alcançada diminuindo-se o rendimento de crescimento da biomassa (Y) durante o tratamento biológico do efluente por métodos diretos ou aumentando-se o metabolismo de manutenção celular para diminuição de Y de forma indireta. Isto pode ser realizado das seguintes maneiras: 1) substituir os receptores de elétrons produtores de elevada quantidade de energia como O_2 e o nitrato, ou diminuir a eficiência destes (tratamento anaeróbio, metabolismo desacoplador); 2) aumentar as necessidades de manutenção celular, fornecendo menos energia para o crescimento da biomassa; 3) aumentar a lise e o decaimento da biomassa, que libera produtos que passíveis de serem reutilizados por outras bactérias no sistema; e 4) aumentar a biodegradabilidade de materiais orgânicos inertes acumulados (HERNANDEZ, 2012).

Uma alternativa eficiente, com bom custo-benefício, baseada em mecanismos biológicos para minimizar a produção de lodo é a aplicação do processo *Oxic-Settling-Anaerobic* (CHUDоба et al., 1991). De acordo com Semblante et al. (2014), o processo OSA destaca-se entre outras técnicas de minimização de lodo por possuir baixo custo de implantação e operação. Contudo, ainda existem poucos estudos que abordem os custos da utilização do processo do OSA.

4.4 PROCESSO *OXIC-SETTLING-ANAEROBIC* (OSA)

O processo OSA (*oxic-settling-anaerobic*) é uma técnica de redução da produção de lodo baseada no tratamento biológico, que consiste no emprego de um reator anaeróbio na linha de recirculação do lodo em sistemas de lodos ativados. No processo, os sólidos sedimentados do decantador são enviados ao reator anaeróbio antes de retornarem ao reator aeróbio, com objetivo de reduzir o lodo em excesso (CHUDоба et al., 1991). O nome do processo busca sintetizar os três módulos experimentais existentes: “oxic” representa a oxidação de compostos orgânicos que ocorre no reator aeróbio, “settling” ilustra a presença do decantador secundário e a sedimentação da biomassa que aí acontece, e “anaerobic” ou “anoxic” refere-se ao reator de armazenamento de lodo inserido na linha de recirculação do processo de lodos ativados e as condições de oxidação-redução a que o lodo é exposto (PIRES, 2014).

Westgarth et al. (1964) realizaram a primeira abordagem da técnica OSA, com a inserção de um reator anaeróbio na linha de

recirculação de um sistema de lodos ativados e observaram um decréscimo da produção de lodo em 50%. Chudoba et al. (1992), realizaram algumas modificações a esta abordagem e nomearam o processo de OSA (*Oxic-Settling-Anaerobic*). O mecanismo para a redução de lodo apresentado seria o metabolismo desacoplado entre catabolismo e anabolismo. Segundo os autores, condições de estresse físico são criadas com os ciclos alternados de aerobiose e anaerobiose, aos quais são submetidos os microrganismos. Na condição de estresse, os microrganismos são privados de fonte de substrato, e não são capazes de produzir energia e precisam usar suas reservas de ATP como fonte de energia para as funções de manutenção celular. Quando os microrganismos retornam ao reator aeróbio rico em substrato priorizam a reposição de suas reservas energéticas a produzir novas células, uma vez que a síntese celular necessita de certo estoque de ATP. A redução de lodo pode ser explicada pelo desacoplamento de energia, que é uma discrepância no balanço de energia entre o catabolismo e o anabolismo, que visa regular o metabolismo celular.

Embora haja muitos estudos, os mecanismos responsáveis pela minimização da produção de lodo no processo OSA não estão totalmente esclarecidos. (SEMBLANTE et al., 2014). O metabolismo desacoplado, a lise celular, a liberação de polímeros extracelulares (EPS) e o decaimento endógeno são os principais mecanismos relacionados como responsáveis pela minimização.

A possível explicação para redução da produção de lodo via lise celular é que sob condições de baixo potencial de oxirredução (ORP), anóxicas ou anaeróbias, o decaimento da biomassa se acelere, facilitando a desintegração e solubilização das células. O material celular se torna assim substrato disponível para biodegradação. A liberação de componentes celulares também pode ocorrer devido a condições de estresse, em ambientes sem fontes externas de substrato. Quando o lodo tratado no reator anaeróbio é recirculado ao reator aeróbio, a degradação do substrato, que foi liberado no meio, irá ocorrer, o que resulta numa redução da produção de lodo em excesso, num processo conhecido como “crescimento críptico” (SABY et al., 2003; SEMBLANTE et al., 2014; WEY et al., 2003). De acordo com Saby et al. (2003) quando o nível de ORP é mantido em -250 mV no reator anaeróbio, o excesso de lodo pode ser reduzido em 36% em comparação com um reator mantido em + 100mV, ou 58% em comparação com um sistema convencional de lodos ativados. O nível do ORP é portanto um importante fator de controle para eficiência do processo OSA na minimização da produção de lodo.

A liberação de EPS (proteínas, polissacarídeos, lipídeos e outras macromoléculas orgânicas), os quais compõem os flocos de lodo ativado, em condições anaeróbias também é apontado como mecanismo atuante no processo de redução da produção de lodo. Os microrganismos selecionados no ambiente anaeróbio quebram os flocos de lodo que são formados por substâncias biopoliméricas. As substâncias biopoliméricas liberadas com a quebra dos flocos são recirculadas para o reator aeróbio, onde são prontamente degradadas para o crescimento da biomassa aeróbia. Através da liberação anaeróbia e da degradação aeróbia do EPS, a produção de lodo é reduzida (EASWARAN, 2006; YE; PENG; LI, 2011; VELHO, 2015).

No reator anaeróbio, o decaimento endógeno intensifica-se no sob baixos valores de ORP e elevado tempo de retenção de sólidos. Os produtos do decaimento endógeno servem como fonte de energia para as reações dos microrganismos ali presentes, uma vez que quase todo substrato solúvel já foi utilizado no reator aeróbio e não há suprimento externo de substratos orgânicos. Assim, a alternância entre condições aeróbias e anaeróbias resultam em uma maior velocidade de biodegradação do material endógeno e o crescimento da biomassa é reduzido (WANG et al., 2015)

O tempo de detenção hidráulica (TDH) do lodo no reator anaeróbio é outro importante fator do processo, objeto de estudo de numerosos trabalhos, que apresentam os resultados obtidos em termos de minimização da produção de lodo com os diferentes TDH. Saby et al. (2003), utilizando água residual sintética num sistema de tratamento de biorreatores de membrana (MBR) acoplado o processo OSA, testou um TDH em reator anóxico de 10,4 horas obtendo uma eficiência de redução da produção de lodo de 47,5 %. Daudt (2012) minimizou a produção de lodo em 50% num sistema piloto de lodos ativados com reator anaeróbio na linha de recirculação com TDH de 10 horas. Pires (2014) obteve 78% de redução da produção de lodo em comparação com seu ensaio de referência (sistema de lodos ativados convencional) utilizando TDH de 24 horas no reator anaeróbio. Velho (2015) atingiu 50% e 60% de redução da produção utilizando TDH de 16 horas e 10 horas, respectivamente, em sistemas experimentais de bancada.

5. METODOLOGIA

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA UNIDADE PILOTO

O trabalho experimental foi realizado em uma unidade piloto, localizada no setor experimental do Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (LABEFLU), do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (ENS), situado no Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), na cidade de Florianópolis, estado de Santa Catarina, Brasil.

A unidade piloto, apresentada na Figura 5.1, consistiu-se de três módulos experimentais, reator aeróbio (TA) com volume de $2,5 \text{ m}^3$, decantador secundário (DS) com volume de $0,25 \text{ m}^3$, e reator anaeróbio (TM) com volume de $1,0 \text{ m}^3$. Os reatores aeróbio e anaeróbio eram constituídos de polietileno reto moldado e o decantador secundário era constituído de polipropileno. O reator aeróbio possuía quatro difusores de ar para que o oxigênio dissolvido fosse mantido nos níveis desejados.



Figura 5.1 - Foto da Unidade Piloto. Reator aeróbio (TA), decantador secundário (DS), Reator Anaeróbio (TM). Fonte: Próprio Autor

5.2 SISTEMA DE OPERAÇÃO DA UNIDADE PILOTO

A unidade piloto foi desenvolvida de forma que o processo de minimização da produção de lodos OSA pudesse ser aplicado a um sistema de tratamento de esgoto sanitário do tipo lodos ativados.

O afluente utilizado no sistema experimental foi esgoto sanitário oriundo da rede coletora de esgotos do bairro Pantanal, da cidade de Florianópolis, operada pela concessionária CASAN (Companhia Catarinense de Águas e Saneamento). A captação do afluente era realizada através de bomba submersível (SCHNEIDER®, modelo BCS-94) instalada em um poço de visita da CASAN. O afluente captado era encaminhado a um tanque de equalização, com capacidade de armazenamento de $5,0 \text{ m}^3$. O efluente armazenado no tanque de equalização era recirculado a cada 25 minutos ao poço de visita durante 5 minutos, para que houvesse equalização e renovação do mesmo.

A unidade piloto foi operada em fluxo contínuo durante 150 dias. Durante os 22 primeiros dias de operação, o sistema foi conduzido como um sistema convencional de lodos ativados de aeração prolongada, conforme fluxograma apresentado na Figura 5.2, ou seja, o sistema funcionou sem a participação do reator anaeróbio. Deste modo, o efluente era bombeado do tanque de equalização ao reator aeróbio, onde permanecia por aproximadamente 20 horas e seguia por gravidade ao decantador secundário com vazão de aproximadamente $3,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$. No decantador ocorria a sedimentação de sólidos (lodo), que recirculavam por bombeamento ao reator aeróbio com vazão de $2,0 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, exceto por uma pequena fração retirada do sistema (lodo em excesso) para controle da idade do lodo. O efluente final clarificado saía pela parte superior do decantador secundário e seguia para rede coletora de esgoto da concessionária CASAN, num ponto à jusante do ponto de captação do afluente.

Este período inicial teve como objetivo a regularização do funcionamento do sistema, com estabilização da biomassa e idade do lodo, para que fossem alcançadas as condições operacionais do ensaio de referência de Pires (2014) cujos resultados seriam utilizados neste estudo. No ensaio de referência, que teve duração de 57 dias e foi realizado na mesma unidade piloto de tratamento, com o mesmo afluente, utilizados neste trabalho, a autora manteve o sistema funcionando como um sistema convencional de lodos ativados.

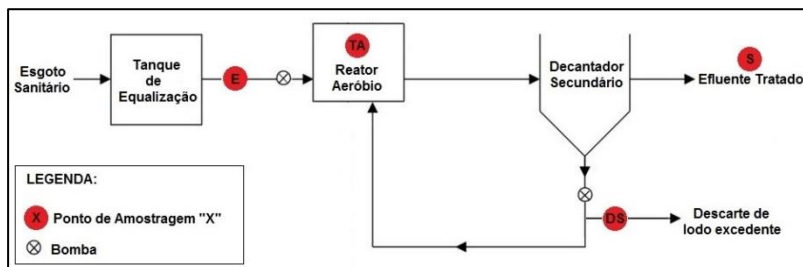


Figura 5.2 - Fluxograma de operação em condições de lodo ativados convencional. Fonte: Adaptado de Pires (2014)

A partir do 23º dia o processo OSA foi aplicado, introduzindo-se o reator anaeróbio na linha de recirculação de lodo. Desta forma, o lodo que recirculava diretamente ao reator aeróbio passou a ser encaminhado em sua totalidade ao reator anaeróbio, onde permanecia por tempo de detenção hidráulica de 12 horas e só então retornava ao reator aeróbio. O reator anaeróbio possuía homogeneização de 15 segundos a cada 15 minutos, de forma a evitar a sedimentação da biomassa. O fluxograma de operação do sistema com a inserção do processo OSA, que funcionou por 127 dias (18 semanas), é apresentado na Figura 5.3, e as condições operacionais estabelecidas são apresentadas na Tabela 5.1.

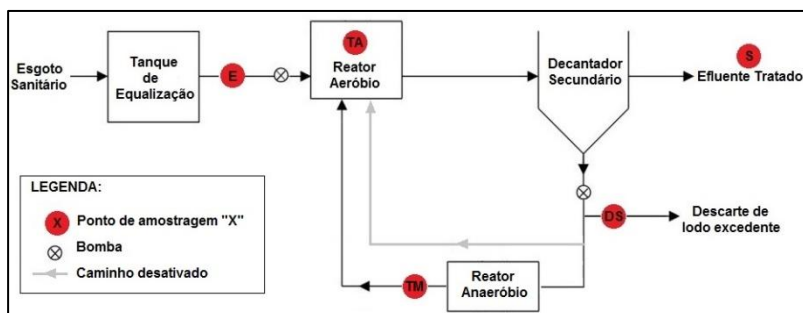


Figura 5.3 – Fluxograma de operação do processo OSA. Fonte: Adaptado de Pires (2014)

Tabela 5.1 – Condições operacionais estabelecidas

CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO SISTEMA	
Vazão afluyente ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	3,0
Vazão de recirculação de lodo ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	2,0
Tempo de detenção hidráulica no reator aeróbio (horas)	20,0
Tempo de detenção hidráulica no reator anaeróbio (horas)	12,0

5.3 MONITORAMENTO DO SISTEMA

O monitoramento do sistema de tratamento teve como objetivo promover a manutenção das condições operacionais estabelecidas para o sistema. A partir do primeiro dia de operação da unidade piloto foram realizadas diariamente medições de pH, temperatura e o oxigênio dissolvido no reator aeróbio, do potencial de oxirredução no reator anaeróbio, e das vazões de saída do sistema e de recirculação de lodos.

Após 8 dias de operação do processo OSA, iniciaram-se as coletas de amostras para realização de análises laboratoriais para determinação de parâmetros físico-químicos e microbiológicos, que se estenderam por 18 semanas.

5.3.1 Parâmetros físico-químicos

Amostras de diferentes pontos da unidade piloto foram coletadas semanalmente e encaminhadas para o Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA) do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC para serem processadas. Foram colhidas amostras do esgoto bruto (afluente), ponto de amostragem identificado como “E”, do licor misto do reator aeróbio, identificado como “TA”, do lodo proveniente do decantador secundário, identificado como “DS”, do lodo proveniente do reator anaeróbio, identificado como “TM” e do efluente final clarificado, identificado como “S”. As localizações dos pontos de amostragem podem ser visualizadas no fluxograma da Figura 5.3.

A Tabela 5.2 apresenta as análises de parâmetros físico-químicos realizadas e seus respectivos pontos de amostragem, bem como as metodologias aplicadas e frequência analítica. As análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods* (APHA, 2005).

5.3.2 Parâmetros microbiológicos

Para determinação de parâmetros microbiológicos utilizou-se técnica de microscopia óptica. Amostras do licor misto (mistura entre afluente bruto e biomassa já presente no reator) do reator aeróbio eram coletadas uma vez por semana durante o período de operação da unidade piloto para a realização da análise de microscopia óptica (microscópio óptico Olympus BX-40). Buscou-se identificar microrganismos presentes nas amostras, a variabilidade dos mesmos e possível predominância de determinadas espécies.

Tabela 5.2 - Parâmetros físico-químicos analisados, pontos de amostragem, metodologias e frequências analítica

PARÂMETRO		PONTO DE AMOSTRAGEM	METODOLOGIA	FREQUÊNCIA
Oxigênio Dissolvido (OD)	(mg/L)	TA e TM	Oxímetro (HANNA HI 9146)	Seis vezes por semana
Temperatura	(°C)	TA	pHmetro (HANNA 98190)	Seis vezes por semana
pH	-	TA	pHmetro (HANNA 98190)	Seis vezes por semana
Potencial de Oxidação-redução (ORP)	(mV)	TM	pHmetro (HANNA HI8314)	Seis vezes por semana
Demanda Química de Oxigênio	(mg/L)	E e S	Digestão em refluxo fechado. Leitura em espectrofotômetro HACH®, modelo DR-4000.	Uma vez por semana
Demanda Bioquímica de Oxigênio	(mg/L)	E e S	Manométrica com digestão de 5 dias em base agitadora HACH®, modelo BOD-TRACK.	Uma vez por semana
Nitrogenio de kjeldahl Total (NKT)	(mg/L)	E e S	Digestão em digestor VELP®, modelo DK-20, em meio ácido com oxidação forçada (H2SO4), posterior destilação em aparelho VELP®, modelo UDK 130D e titulação com H2SO4 0,02N.	Uma vez por semana
Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Fixos (SSF), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	(mg/L)	E, TA, DS, TM e S	Método gravimétrico em membrana de fibra de vidro (0,47 µm).	Uma vez por semana

Índice volumétrico de lodo (IVL)	(mg/L)	TA	Índice de Mohlmam	Uma vez por semana
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₄)	(mg/L)	E e S	Destilação em aparelho VELP®, modelo UDK 130D e titulação com H ₂ SO ₄ 0,02 N.	Uma vez por semana
Nitrito (N-NO ₂ ⁻)	(mg/L)	E e S	Cromatografia iônica DIONEX DX 120	Uma vez por semana
Nitrato (N-NO ₃ ⁻)	(mg/L)	E e S	Cromatografia iônica DIONEX DX 120	Uma vez por semana
Polissacarídeos (PS)	(mg/L)	TA, DS e TM	Método de Dubois <i>et. al.</i> (1956)	Uma vez por semana
Proteínas (PT)	(mg/L)	TA, DS e TM	Método de Lowry <i>et. al.</i> (1951)	Uma vez por semana

Tabela 5.2 (continuação)

5.3.3 Parâmetros Operacionais

Os parâmetros operacionais adotados para controle e análise das respostas da unidade piloto foram: índice volumétrico de lodo (IVL), carga orgânica volumétrica (COV), relação alimento/microrganismo (A/M), tempo de detenção hidráulica (TDH), idade do lodo e coeficiente de produção celular observado (Y_{obs}).

5.3.3.1 Índice volumétrico de lodo

O índice volumétrico de lodo, determinado com objetivo de se realizar uma avaliação da sedimentabilidade do lodo, foi calculado através da Equação 5.1:

$$IVL = \frac{S_{sed}}{X} \quad (5.1)$$

Onde IVL é o Índice volumétrico de lodo (mL.g^{-1}), S_{sed} é o valor do volume de lodo sedimentado da amostra do reator aeróbio, em uma proveta de 1 L após 30 minutos em repouso (mL.L^{-1}) e X é concentração de SST (g.L^{-1}) no reator aeróbio.

5.3.3.2 Carga orgânica volumétrica

A carga orgânica volumétrica aplicada ao sistema piloto de tratamento de efluentes foi calculada através da Equação 5.2:

$$COV = \frac{S \times Q}{V_{TA}} \quad (5.2)$$

Onde COV é a carga orgânica volumétrica aplicada por dia ($\text{kg DQO.m}^{-3}.\text{d}^{-1}$), S é concentração de substrato afluente (kg DQO.m^{-3}), Q é a vazão afluente ($\text{m}^3.\text{d}^{-1}$) e V_{TA} é o volume do reator aeróbio (m^3).

5.3.3.3 Relação alimento/microrganismo

A relação alimento/microrganismo foi determinada pela Equação 5.3:

$$A/M = \frac{S_o \times Q}{X \times V_{TA}} \quad (5.3)$$

Onde A/M é a relação alimento/microrganismo ($g\ DBO_5 \cdot g^{-1}\ SSV \cdot d^{-1}$), S_0 é a concentração de substrato no afluente ($g\ DBO_5 \cdot m^{-3}$), Q é a vazão afluente ($m^3 \cdot d^{-1}$) e X é a concentração de biomassa no reator aeróbio ($g\ SSV \cdot m^{-3}$) e V_{TA} é o volume do reator aeróbio (m^3).

5.3.3.4 *Tempo de detenção hidráulica*

O tempo de detenção hidráulica foi obtido pela Equação 5.4:

$$TDH = \frac{V}{Q} \quad (5.4)$$

Onde TDH é o tempo de detenção hidráulica (dias ou horas), Q representa a vazão afluente ($m^3 \cdot d^{-1}$ ou $m^3 \cdot h^{-1}$) e V é o volume do reator (m^3)

5.3.3.5 *Idade do lodo*

A idade do lodo ou tempo de retenção de sólidos foi calculado através da Equação 5.5:

$$TRS = \frac{X_{TA} \cdot V_{TA}}{Q_S \times X_S + Q_R \times X_R} \quad (5.5)$$

Onde TRS é a idade do lodo (dia), X_{TA} é concentração de SST ($g \cdot m^{-3}$) no reator aeróbio, X_R é a concentração de SST ($g \cdot m^{-3}$) no lodo descartado do sistema, X_S é a concentração de SST ($g \cdot m^{-3}$) no efluente final do sistema, V_{TA} é o volume do reator aeróbio (m^3), Q_S e Q_R são respectivamente a vazão do efluente final do sistema e a vazão do lodo descartado do sistema ($m^3 \cdot d^{-1}$).

5.3.3.6 *Coefficiente de produção celular observado (Yobs)*

A estimativa da produção de lodo foi determinada em função do coeficiente de produção celular observado (Y_{obs}), conforme metodologia apresentada por Chon et al. (2011), de acordo com a Equação 5.6:

$$Y_{obs} = \frac{\Delta X_{TA} V_{TA} + \sum (X_R Q_R + X_S Q_S) \Delta t}{\sum (S_E Q_E + S_S Q_S) \Delta t} \quad (5.6)$$

Onde ΔX_{TA} e Δt são respectivamente a variação de SST (g.m^{-3}) e variação do tempo (dias) no reator aeróbio. X_R e X_S são a concentração de SST (g.m^{-3}) no lodo descartado do sistema e no efluente final (saída do sistema), respectivamente. V_{TA} é o volume do reator aeróbio (m^3). S_E e S_S são as concentrações de substrato (g DQO.m^{-3}) no afluente e efluente, respectivamente e Q_E , Q_R e Q_S são as vazões ($\text{m}^3.\text{dia}^{-1}$) do afluente, do lodo descartado do sistema e do efluente final, respectivamente.

5.3.3.7 Cálculo de eficiências

As eficiências de remoção dos parâmetros SST, SSV, DQO, DBO_5 , Fósforo (P-PO_4^{3-}) NTK e N-NH_4^+ , foram calculadas através dos resultados das análises laboratoriais, comparando-se seus valores de entrada e saída do sistema, através da Equação 5.7:

$$E = \frac{C_a - C_e}{C_e} \times 100 \quad (5.7)$$

Onde E é a eficiência de remoção de determinado parâmetro (%), C_a é a concentração (mg.L^{-1}) na entrada do sistema (afluente) e C_e é a concentração (mg.L^{-1}) na saída do sistema (efluente final).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento dos dados obtidos através das análises físico-químicas foi feito através do software Excel® 2013, utilizando-se análise estatística descritiva, que retrata informações sobre a tendência central e a dispersão dos dados obtidos. Assim, obteve-se média, desvio-padrão e número total de amostras (n).

6.1 CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE

As características do esgoto sanitário (afluente) e as cargas orgânicas volumétricas (COV) aplicadas neste estudo são apresentados na Tabela 5.3, de onde pode-se observar que os valores apresentados estão de acordo com os valores usuais para esgotos sanitários apresentados por Von Sperling (2014).

Tabela 5.3 – Caracterização do afluente utilizado no experimento
(valor médio \pm desvio padrão).

PARÂMETRO	RESULTADOS	n
DQO (mg L ⁻¹)	522 \pm 137	16
DBO (mg L ⁻¹)	310 \pm 81	16
SST (mg L ⁻¹)	182 \pm 48	16
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	31 \pm 10	16
COV (kg DQO m ³ d ⁻¹)	0,62 \pm 0,2	16
pH	7,2 \pm 0,1	16

n: número de amostras

6.2 OXIGÊNIO DISSOLVIDO, TEMPERATURA, pH E POTENCIAL DE OXIRREDUÇÃO

Foram realizadas medições *in situ* no reator aeróbio de oxigênio dissolvido (OD), temperatura e pH. Os valores médios, desvio-padrão da média, valor máximo e valor mínimo obtidos são apresentados na Tabela 5.4.

Tabela 5.4 – Resultados de OD, temperatura e pH medidos no reator aeróbio durante o período experimental.

PARÂMETRO	RESULTADOS
OD (mg L ⁻¹)	Média
	2,01
	Desvio-padrão
	0,98
	Máximo
Temperatura (°C)	5,28
	Mínimo
	0,52
	n
	71
Temperatura (°C)	Média
	22,0
	Desvio-padrão
	2,3
	Máximo
pH	25,7
	Mínimo
	15,3
	n
	103
pH	Média
	6,7
	Desvio-padrão
	0,8
	Máximo
pH	9,8
	Mínimo
	5,0
pH	n
	115

n: número de amostras

A concentração média de oxigênio dissolvido obtida no reator aeróbio foi 2,01 mg/L. Conforme ressaltado por Metcalf & Eddy (2003) o valor de OD no reator aeróbio de sistemas de lodos ativados deve ser mantido pelo menos entre 1,5 e 2,0 mg/L para evitar que ocorra o comprometimento da biomassa presente.

O pH apresentou valores médios próximos da neutralidade com concentração média de 6,7. Estes valores estão de acordo com a faixa proposta por Metcalf & Eddy (2003), de 6 a 9, para a ocorrência da oxidação da matéria orgânica.

No reator anaeróbio foram realizadas medições *in situ* de oxigênio dissolvido (OD) e ORP no reator anaeróbio. Os valores médios, desvio-padrão da média, valor máximo e valor mínimo obtidos são apresentados na Tabela 5.5.

As medições do oxigênio dissolvido no reator anaeróbio objetivavam verificar as condições de anaerobiose do meio.

O ORP foi monitorado no reator anaeróbio em razão de que o parâmetro é apontado em literaturas atuais como um dos principais fatores responsáveis pela redução da produção de lodo do processo OSA. O valor médio encontrado (-91 mV) é negativo, o que de acordo com diversos trabalhos (CHEN et al., 2003; SABY et al., 2003; SEMBLANTE et al., 2014; WANG et al., 2015), favorece a minimização da produção de lodo. Segundo os autores, quanto mais baixo o nível de ORP menor será a produção de biomassa, sendo este um parâmetro chave do processo.

Tabela 5.5 – Resultados de OD e ORP medidos no reator anaeróbio durante o período experimental.

PARÂMETRO		RESULTADOS
OD (mg L ⁻¹)	Média	0,00
	Desvio-padrão	-
	Máximo	-
	Mínimo	-
	n	71
ORP (mV)	Média	-91
	Desvio-padrão	43
	Máximo	-25
	Mínimo	-180
	n	101

n: número de amostras

6.3 SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS, FIXOS E VOLÁTEIS

Os resultados obtidos para as concentrações de sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e fixos (SSF) no afluente e no efluente, bem como as eficiências de remoção dos respectivos sólidos são apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6 – Concentrações de SST, SSV e SSF no afluente e no efluente (valor médio \pm desvio padrão) e respectivas eficiência de remoção.

PARÂMETRO	RESULTADOS			
	Afluente	Efluente	Eficiência De Remoção (%)	n
SST (mg L ⁻¹)	182 \pm 48	34 \pm 25	82	16
SSV (mg L ⁻¹)	154 \pm 42	27 \pm 19	83	16
SSF (mg L ⁻¹)	28 \pm 18	6 \pm 6	77	16

n: número de amostras

É possível observar através da Tabela 5.6 que as eficiências de remoção de sólidos foram elevadas. A remoção de SST apresentou-se ligeiramente inferior ao intervalo típico de remoção do sistema de lodos ativados com aeração prolongada (85-95%), apresentado por Von Sperling (2012).

Pires (2014), realizando ensaio experimental de minimização da produção de lodos através do processo OSA, com metade da vazão de recirculação de lodos (1,0 m³.d⁻¹) sendo submetida a anaerobiose por 24 horas, obteve eficiências de remoção de 89% de SST e 88% de SSV. A autora desenvolveu o ensaio na mesma unidade piloto utilizada para o experimento do presente trabalho, utilizando o mesmo afluente e condições operacionais semelhantes às aqui apresentadas.

Os resultados obtidos para as concentrações de sólidos suspensos totais (SST), voláteis (SSV) e fixos (SSF) no reator aeróbio (TA), no decantador secundário (DS) e no reator anaeróbio (TM) são apresentados na Tabela 5.7.

De acordo com Von Sperling (2012), a concentração média de SSV no reator aeróbio para um sistema de lodos ativados de aeração prolongada varia de 2.500 a 4.000 mg L⁻¹. Embora a concentração média obtida no presente trabalho (SSV = 959 mg L⁻¹) tenha sido consideravelmente inferior ao intervalo típico apresentado na bibliografia, a eficiência de remoção de SSV alcançada no sistema foi elevada, com valor médio de 83%.

Tabela 5.7 - Concentrações de SST, SSV e SSF nos pontos TA, DS e TM (valor médio \pm desvio padrão).

PARÂMETRO	RESULTADOS			
	TA	DS	TM	n
SST (mg L ⁻¹)	1225 \pm 198	3276 \pm 496	3306 \pm 691	14
SSV (mg L ⁻¹)	959 \pm 175	2496 \pm 353	2466 \pm 327	14
SSF (mg L ⁻¹)	228 \pm 43	698 \pm 122	961 \pm 576	13

n: número de amostras

6.4 DQO E DBO

As concentrações de demanda química de oxigênio (DQO), demanda química de oxigênio solúvel (DQO_s) demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) no afluente e no efluente, bem como suas respectivas eficiências remoção são apresentados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Concentrações de DQO, DQO_s e DBO₅ no afluente e no efluente (valor médio \pm desvio padrão) e respectivas eficiência de remoção.

PARÂMETRO	RESULTADOS			
	Afluente	Efluente	Eficiência De Remoção (%)	n
DQO (mg L ⁻¹)	522 \pm 137	65 \pm 34	86	16
DQO _s (mg L ⁻¹)	242 \pm 65	29 \pm 14	88	15
DBO ₅ (mg L ⁻¹)	310 \pm 81	40 \pm 39	87	16

n: número de amostras

De acordo com a Tabela 5.8 as eficiências de remoção de DQO e DBO₅ obtidas foram elevadas, com valores superiores a 86%, embora estejam ligeiramente inferiores aos valores típicos (93-98% para DBO₅ e 90-95% para DQO) apresentados por Von Sperling (2012).

Pires (2014), em seu ensaio experimental de minimização da produção de lodos através do processo OSA, obteve eficiências de remoção de DQO, DQO_s e DBO₅ de 86%, 69% e 85%, respectivamente. Conforme a Tabela 5.8, as eficiências obtidas neste trabalho, superaram ou igualaram as obtidas pela autora.

Velho (2015), operando reatores de lodos ativados acoplado ao processo OSA em escala de bancada, com dois diferentes TDH no reator anaeróbio, 16 horas e 10 horas, obteve eficiência de remoção de DQO

de 87% e 84% e eficiências de remoção de DBO_5 de 94% e 91% respectivamente.

Os resultados obtidos estão de acordo com os padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos determinados pela Resolução CONAMA 430/2011 ($\text{DBO}_5 = 120 \text{ mg/L}$ ou eficiência maior que 60%) e pela lei estadual nº 14.675/2009 ($\text{DBO}_5 = 60 \text{ mg/L}$ ou eficiência maior que 80%).

6.5 IVL, RELAÇÃO A/M E IDADE DO LODO

Os resultados obtidos para os parâmetros operacionais índice volumétrico de lodo (IVL), relação alimento/microrganismo (A/M) e idade do lodo são apresentados na Tabela 5.9.

Tabela 5.9 – Resultados de IVL, relação A/M e idade do lodo
(valor médio \pm desvio padrão).

PARÂMETRO	RESULTADOS	n
IVL (mL g^{-1})	287 ± 116	16
A/M ($\text{g DBO}_5 \text{ g}^{-1} \text{ SST d}^{-1}$)	$0,4 \pm 0,2$	16
Idade do lodo (dias)	23 ± 3	16

n: número de amostras

O valor médio de IVL obtido nesta pesquisa foi de 287 mL.g^{-1} , que de acordo com a com as interpretações de resultados de IVL apresentadas na Tabela 4.2, propostas por Von Sperling (2012), caracteriza uma sedimentabilidade “ruim”. A explicação para tal resultado pode estar relacionado ao excesso de organismos filamentosos observado no licor misto do reator aeróbio. A presença excessiva de organismos filamentosos é conhecida como *bulking* filamentosos, quando as bactérias formam filamentos de organismos unicelulares que se prendem uns aos outros, e os seus filamentos normalmente se projetam para fora do floco de lodo, ligando-se aos demais flocos. Esta estrutura possui uma maior área de superfície em relação à massa, o que resulta em fraca sedimentação, prejudicando a sedimentabilidade e qualidade do tratamento (METCALF & EDDY, 2003).

O resultado médio obtido para a relação alimento/microrganismo ($0,4 \text{ g DBO}_5 \text{ g}^{-1} \text{ SST d}^{-1}$) foi superior ao intervalo típico ($0,08$ a $0,15 \text{ kg DBO}_5 \text{ kg}^{-1} \text{ SST d}^{-1}$) apresentado por Von Sperling (2012) para sistemas de aeração prolongada. Este fato,

contudo, não prejudicou a eficiência de remoção do substrato, que teve média de remoção de DBO_5 de 87%.

A idade do lodo previamente estabelecida para este estudo foi de 20 dias. O valor médio obtido foi de 23 dias, estando em conformidade com Von Sperling (2012), que apresenta intervalo de 18 a 30 dias para caracterização de um sistema de lodos ativados de aeração prolongada.

6.6 NTK, AMÔNIA, NITRITO E NITRATO

As concentrações de nitrogênio Kjeldahl total (NTK), amônia (N-NH_4^+), nitrito (N-NO_2^-) e nitrato (N-NO_3^-) no afluente e no efluente, bem como suas respectivas eficiências remoção são apresentados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Concentrações de NTK, N-NH_4^+ , N-NO_2^- e N-NO_3^- no afluente e no efluente (valor médio \pm desvio padrão) e respectivas eficiência de remoção.

PARÂMETRO	RESULTADOS			
	Afluente	Efluente	Eficiência De Remoção (%)	n
NTK (mg L^{-1})	39 ± 9	7 ± 7	81	12
N-NH_4^+ (mg L^{-1})	29 ± 9	2 ± 4	92	14
N-NO_2^- (mg L^{-1})	$0,1 \pm 0,1$	$5,8 \pm 8,4$		16
N-NO_3^- (mg L^{-1})	$0,1 \pm 0,2$	$15,0 \pm 12,9$		16

n: número de amostras

As eficiências de remoção de NTK e N-NH_4^+ foram elevadas, encontrando-se substancialmente superiores ao intervalo típico de remoção de nitrogênio (15-25%) de sistemas de aeração prolongada apresentados por Von Sperling (2012).

A presença de N-NO_3^- no efluente tratado, em valor três vezes maior que o N-NO_2^- , indica eficiência no processo de nitrificação no sistema e demonstra, no entanto, baixa ocorrência de desnitrificação. O processo de nitrificação também foi evidenciado pelas medições diárias de pH no reator aeróbio, que mostravam consumo de alcalinidade em decorrência do processo. Para elevar o pH e mante-lo próximo da neutralidade, eram adicionados em média 500 g de cal hidratada por dia no reator. Metcalf & Eddy (2003) relata que o processo de desnitrificação ocorre na presença de baixas concentrações de oxigênio

dissolvido e que concentrações superiores a $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ já podem impossibilitar o processo.

Velho (2015) relata através dos resultados obtidos em seus experimentos de bancada que as eficiências de remoção da amônia não foram afetadas pelos processos de minimização do lodo. Nos reatores que operavam com o processo OSA, foi obtida eficiência de remoção de 77% para o reator com TDH de 16 horas e de 76% para o reator com TDH de 10 horas.

Pires (2014), em seu ensaio experimental de minimização da produção de lodos através do processo OSA, obteve eficiências de remoção de NTK e N-NH_4^+ de 74% e 83%, respectivamente.

Semblante et al. (2014) relatam que o processo OSA não interfere negativamente na eficiência de remoção de nitrogênio.

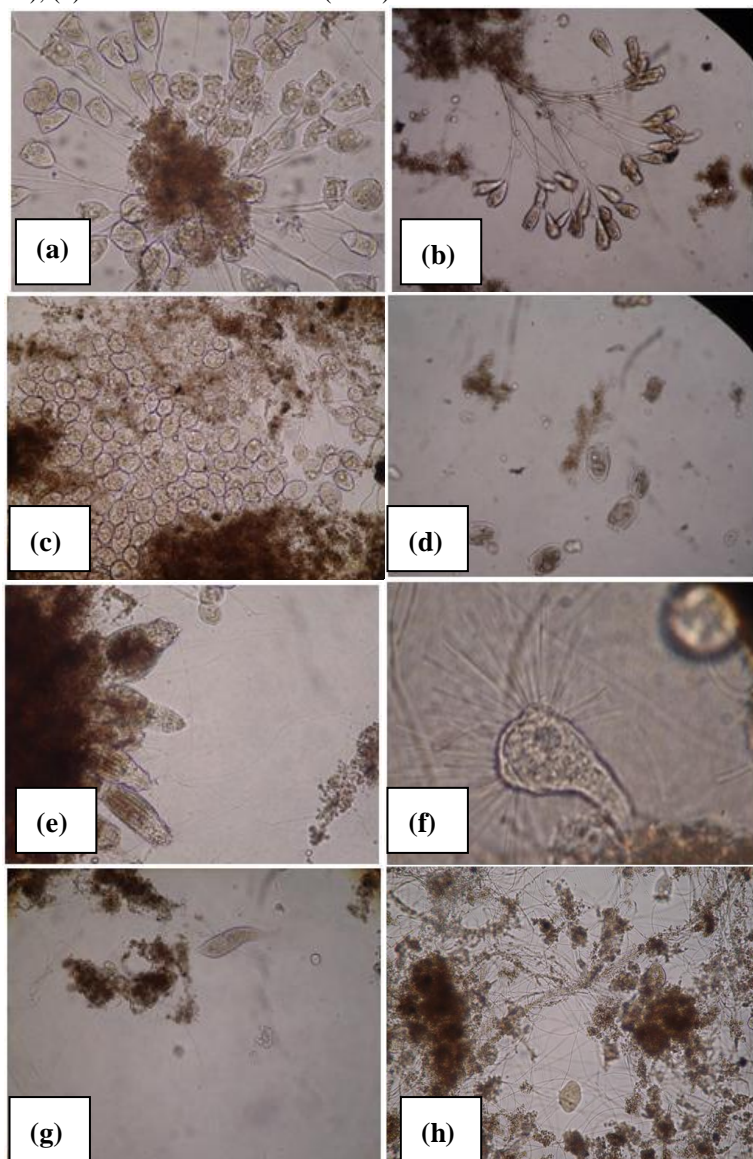
O resultado obtido para remoção de nitrogênio amoniacal neste trabalho atendeu ao padrão determinado pela Resolução CONAMA 430/2011 (Nitrogênio Amoniacal $\leq 20 \text{ mg/L}$), para o lançamento de fluentes em corpos hídricos.

6.7 MICROSCOPIA ÓPTICA

A visualização de amostras do licor misto do reator aeróbio através de microscopia óptica permitiu avaliar qualitativamente microrganismos presentes no reator. Na Figura 5.4 (a,b,c,d,e,f,g e h) são apresentadas fotografias de análises microscópicas realizadas, onde é revelada a presença regular de flocos densos e organismos indicadores de estabilidade de tratamento de acordo com Canler et al. (1999, apud PIRES, 2014) e Hoffmann et al. (2004), tais quais *Aspidisca* sp., *Epistylis* sp., *Vorticellas* sp. *Litonotus* sp. *Tokophyra* sp. (protozoários ciliados) e *Rotatória* sp. (metazoários).

Foi possível observar também elevado número de microrganismos filamentosos, em grande parte do período experimental, como mostra a Figura 5.4 (h), caracterizando o *bulking* filamentoso. Acredita-se que este fato tenha sido responsável por problemas na sedimentabilidade do lodo no sistema, conforme discutido no subcapítulo 6.5.

Figura 5.4 – a) *Epistylis* sp. (100x); b) Colônia de *Epistylis* sp. (100x); c) *Vorticellas* sp. aderidas ao floco (100x); d) *Aspidisca* sp. (100x); e) Colônia de rotíferos aderidos ao floco (100x); f) *Tokophyra* sp. (400x); (g) *Litonotus* sp. (100x); (h) Bactérias filamentosas (100x).



De acordo com MOTTA et al. (2003), flocos de lodo com desejáveis características de adensamento e decantação são formados por uma combinação equilibrada de microrganismos, e segundo os autores, desequilíbrios nesta combinação, como o *bulking* filamentoso, são eventos comuns, responsáveis por mais de 60% dos problemas em estações de tratamento de efluentes por sistema de lodos ativados. O lodo que apresenta este desequilíbrio torna-se intumescido. Metcalf e Eddy (2003) apontam como causas prováveis do intumescimento filamentoso baixa concentração de OD, uma baixa relação A/M, deficiência de nitrogênio, fósforo e baixo pH.

6.8 PROTEÍNAS E POLISSACARÍDEOS

As concentrações de proteínas totais (PT_{Totais}), proteínas solúveis (PT_{Solúveis}), polissacarídeos totais (PS_{Totais}) e polissacarídeos solúveis (PS_{Solúveis}) obtidas no reator aeróbio (TA), no decantador secundário (DS) e no reator anaeróbio (TM) são apresentadas na Tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Concentrações de PT_{Totais}, PT_{Solúveis}, PS_{Totais} e PS_{Solúveis} nos pontos TA, DS e TM (valor médio \pm desvio padrão).

PARÂMETRO	RESULTADOS			
	TA	DS	TM	n
PT _{Totais} (mg L ⁻¹)	275 \pm 36	609 \pm 98	571 \pm 92	16
PT _{Solúveis} (mg L ⁻¹)	12 \pm 3	12 \pm 3	14 \pm 6	16
PS _{Totais} (mg L ⁻¹)	102 \pm 24	250 \pm 44	193 \pm 72	16
PS _{Solúveis} (mg L ⁻¹)	15 \pm 8	12 \pm 5	7 \pm 2	16

n: número de amostras

Técnicas de minimização da produção de lodo baseadas no mecanismo de lise celular, como o processo OSA, apresentam como consequência o aumento na concentração de compostos orgânicos no meio, em decorrência da liberação no meio de material intracelular, como proteínas e polissacarídeos (WANG et al., 2008). Comparando as concentrações médias obtidas de proteínas e polissacarídeos com os resultados obtidos por Pires (2014) em seu ensaio de referência (Tabela 5.12) é possível observar que, de fato, a inserção do processo OSA 12 horas incrementou consideravelmente os valores de proteínas e polissacarídeos totais. A concentração de proteínas totais elevou-se em cerca de 91% no licor misto do reator aeróbio e 102% no lodo do decantador secundário enquanto que a concentração de polissacarídeos

totais elevou-se em 28% no licor misto do reator aeróbio e 62% no lodo do decantador secundário.

As concentrações médias obtidas de proteínas e polissacarídeos também foram, em geral, superiores aos obtidos por Pires (2014) em seu ensaio de minimização (Tabela 5.12).

Tabela 5.12 - Concentrações de PT_{Totais} , $PT_{\text{Solúveis}}$, PS_{Totais} e $PS_{\text{Solúveis}}$ nos pontos TA e DS no ensaio de referência e no ensaio de minimização de Pires (2014) (valor médio \pm desvio padrão).

PARÂMETRO	ENSAIO DE REFERÊNCIA		ENSAIO DE MINIMIZAÇÃO		n
	TA	DS	TA	DS	
PT_{Totais} (mg L ⁻¹)	144 \pm 42	301 \pm 134	175 \pm 52	565 \pm 192	9
$PT_{\text{Solúveis}}$ (mg L ⁻¹)	13 \pm 5	16 \pm 5	18 \pm 3	18 \pm 3	9
PS_{Totais} (mg L ⁻¹)	80 \pm 29	154 \pm 59	68 \pm 24	197 \pm 54	9
$PS_{\text{Solúveis}}$ (mg L ⁻¹)	14 \pm 5	16 \pm 6	21 \pm 9	24 \pm 14	9

n: número de amostras

6.9 COEFICIENTE DE PRODUÇÃO CELULAR OBSERVADO

A estimativa da produção de lodo no reator biológico foi realizada utilizando-se como parâmetro de análise, o coeficiente de produção celular observado (Y_{obs}).

Para verificação do desempenho da minimização da produção de lodo, o resultado de Y_{obs} obtido neste trabalho ($OSA_{12\text{horas}}$) foi comparado ao obtido por Pires (2014) em seu ensaio de referência.

As curvas obtidas em função do “lodo produzido acumulado (g SST)” *versus* o “substrato consumido acumulado (g DQO)” são apresentadas na Figura 5.5 e na Tabela 5.13 estão apresentados os respectivos Y_{obs} obtidos nos trabalhos.

Tabela 5.13 - Valores de Y_{obs} obtidos no “Ensaio de referência” de Pires (2014) e no presente trabalho ($OSA_{12\text{horas}}$)

	Ensaio de referência	$OSA_{12\text{horas}}$
Coeficiente de produção celular observado (Y_{obs}) (g SST/ g DQO)	0,369	0,190

Os resultados mostram que ocorreu uma diminuição significativa da produção de lodo no experimento OSA_{12horas} em comparação ao ensaio de referência, com a redução do Y_{obs} em 49%.

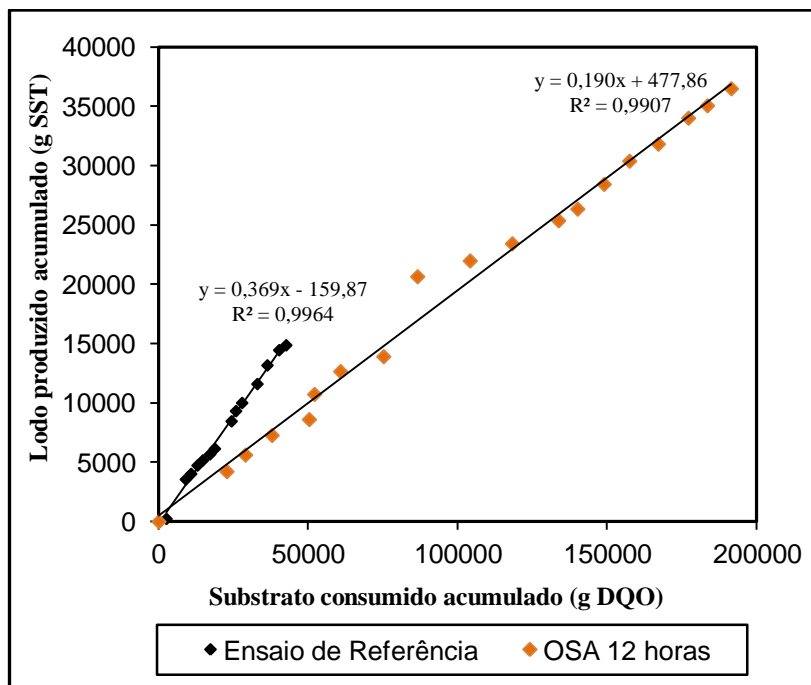


Figura 5.5 – Coeficiente de Produção Celular observado (Y_{obs}) obtidos no ensaio de referência de Pires (2014) e no presente trabalho (OSA_{12horas})

Pires (2014), em seu ensaio de minimização, que utilizou o processo OSA com metade da vazão de recirculação submetida à anaerobiose por 24 horas, obteve 78% de redução da produção de lodo no sistema.

Martins et al. (2015) realizaram experimento com o processo OSA durante 74 dias, sob as mesmas condições operacionais estabelecidas nesta pesquisa e mesmo tempo de anaerobiose (12 horas), e obtiveram minimização da produção de lodo de 52%, muito próxima à obtida neste trabalho.

Chon et al. (2011) ao avaliarem a minimização da produção de lodo em processos de lodos ativados, através de diferentes estratégias empregando a passagem do lodo por reatores aeróbios e anaeróbios,

obtiveram redução máxima de Y_{obs} de 49%, com a estratégia que possuía a configuração semelhante à empregada no processo OSA.

Velho (2015) obteve, em seus experimentos de bancada utilizando o processo OSA, redução da produção de lodo de 50% para o reator com anaerobiose de 16 horas e de 60% para o reator com anaerobiose de 10 horas. Já em seus experimentos em escala real, utilizando o sistema Cannibal® (variante do processo OSA), com taxas de recirculação de lodos da ordem de 10%, a autora atingiu valor médio de 15% de minimização.

A Tabela 5.14 resume e compara resultados e configurações deste estudo com outros trabalhos que também estudaram o processo OSA para minimização da produção de lodos.

Frente aos resultados obtidos por outros autores utilizando o processo OSA, considera-se positivo o resultado obtido para minimização da produção de lodos no sistema piloto de lodos ativados proposta neste trabalho.

Tabela 5.14 – Comparação de resultados de minimização da produção de lodo entre diferentes autores

PARÂMETRO	CHODUBA ^a	SABY ^b	WANG ^c	WANG ^d	PIRES ^e	VELHO ^f	CHON ^g	PRESENTE ESTUDO
Nível médio de ORP no reator anaeróbio (mV)	-250	+100~-250	-250	43	-31	-250	*	-91
Idade do lodo (d)	5~12	19~30	10	115	21	40	74	23
Y _{obs} (g SST/g DQO)	0,24~0,25	0,32~0,18	0,24	0,24	0,37	0,374	0,159	0,19
Minimização da produção de lodos (%)	0~36,8	23,4~51,1	44,3	33,3	78	15	49	49

^aCHODUBA et al. (1992). ^bSABY et al. (2003). ^cWANG et al. (2008). ^dWANG et al. (2015). ^ePIRES (2014). ^fVELHO (2015)

^gCHON et al. (2011). *parâmetro não monitorado no estudo. Fonte: Adaptado de Wang et al. (2015)

7. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa experimental apresentada permite concluir que a unidade piloto manteve boa qualidade no tratamento do esgoto sanitário com a utilização do processo OSA. Os resultados das análises físico-químicas mostraram eficiências de remoção dos parâmetros SST (82%), DQO (86%), DBO₅ (87%), NTK (81%) e N-NH₄⁺ (92%) muito próximas ou superiores aos valores esperados para o sistema apresentados em bibliografia. As análises microscópicas revelaram a presença regular de flocos densos e organismos indicadores de estabilidade do tratamento e também, forte presença de microrganismos filamentosos que prejudicaram a sedimentabilidade do lodo.

O coeficiente de produção celular observado (Y_{obs}) no sistema experimental foi 0,190 g SST/g DQO, resultando em redução de 49% do lodo gerado em comparação ao ensaio de referência, cuja produção foi de 0,369 g SST/g DQO. Esta minimização da produção de lodo atingida revela-se um resultado positivo, pois mostra que o experimento pôde alcançar valor de minimização próximo aos de outros autores que avaliaram outras configurações do processo do processo OSA.

Diante do exposto, verifica-se que o processo OSA se mostra uma técnica promissora para minimizar de forma eficiente a produção de lodo em sistemas de lodos ativados, promovendo economia financeira e redução dos prejuízos ambientais associados ao tratamento e disposição final do lodo gerado.

Recomenda-se para futuros trabalhos a experimentação do processo OSA, com o mesmo TDH de 12 horas em anaerobiose apresentado neste trabalho, porém encaminhando-se metade da vazão de recirculação de lodos ao reator anaeróbio, sendo a outra metade encaminhada diretamente ao reator aeróbio. Desta forma será possível verificar a eficiência de minimização da produção de lodos com a estratégia, que permitirá reduzir pela metade o tamanho do reator anaeróbio.

Recomenda-se também, a realização de análises, como citometria de fluxo, Hibridização Fluorescente in Situ (FISH) e sequenciamento de DNA, que busquem maiores informações sobre os mecanismos de redução de lodo no processo OSA e que associadas aos vários parâmetros de controle analisados poderão auxiliar no entendimento dos mecanismos de morte e lise celular resultantes da exposição da biomassa a condições aeróbias e anaeróbias.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLI, C. V. VON SPERLING, M. FERNANDES, F. Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias: **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Vol. 6. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 2ª Edição, 2014. 444 p.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 21ª ed. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário - Procedimento. Rio de Janeiro, 5 p. 1986

BENTO, A. P., SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S., REGINATTO, V., LAPOLLI, F. R. **Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 10 (4): 329-338, 2005.

BRASIL. **Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998**. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil, 1997.

BRASIL. **Resolução CONAMA n. 430, de 24 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional de Meio Ambiente. Brasília: DF. Diário Oficial da União, Brasília, 16 de maio de 2011.

CHEN, G-H, AN, K-J, SABY, S., BROIS, E., DJAFER, M. **Possible cause of excess sludge reduction in an oxix-settling-anaerobic activated sludge process (OSA process)**. Water Research, 37: 3855-3866, 2003.

CHON, D.H., ROME, M., KIM, Y. M., PARK, K. Y., PARK, C. **Investigation of the sludge reduction mechanism in the anaerobic side-stream reactor process using several control biological**

wastewater treatment processes. Water Research, v. 45, p. 6021-6029, 2011.

CHON, D.H. ROME, M.N. PARK, K.Y. PARK, C. (2012), **Investigation of a new anaerobic side-stream reactor (ASSR) process for minimized sludge production at wastewater treatment systems.** In: (ed) IWA World Water Congress & Exhibition, Busan, South Korea, 16-21 Set, 2012.

CHUDOKA, P. MOREL, A. CAPEDEVILLE, B. **The case of both energetic uncoupling and metabolic selection of microorganisms in the OSA activated sludge system.** Environ. Technol., v. 13, p. 761-770, 1992.

COMA, M. ROVIRA, S. CANALS, J. COLPRIM, J. **Minimization of sludge production by a side-stream reactor under anoxic conditions in a pilot plant.** Bioresource Technology, v. 129, p. 229-235, 2013.

DAUDT, G. C. **Análise Comparativa de Técnicas Para Minimização da Produção de Lodo em Sistemas de Lodos Ativados, TCC – Trabalho de Conclusão de Curso, Engenharia Sanitaria e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.**

DIXON, A.; SIMON M. **Assessing the Environmental Impact of Two Options for Small-scale Wastewater Treatment: comparing a reedbed and aerated biological filter using a life cycle approach.** Ecological Engineering, Elsevier, 20, p.297-308, 2003.

DUBOIS, M; GILLES, K.A.H; AMILTON, J.K; REBERS, P.A; SMITH, F. **Colorimetric method for determination of sugars and related substances.** Analytical Chemistry, 28(3), 350-356. 1956.

EASWARAN, S.P. **Developing a mechanistic understanding and optimization of the Cannibal process,** Masters Thesis, VPI & SU, VA, 2006.

HOFFMANN, H. **Caracterização do funcionamento de ETE do tipo lodo ativado via imagem microscópica–estudo na Região da Grande Florianópolis.** XI SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL–SILUBESA. Anais, ABES, Natal, 2004.

JORDÃO, E. P. e PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: ABES, 932p. 1995.

JORDÃO, E. P. **Determinação Do Índice Volumétrico De Lodo Numa Concentração Padrão**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 19º, 1997, Foz do Iguaçu. Rio de Janeiro: Abes, 1997. p. 637 - 645.

LIU, Y. TAY, J. H. **Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process**. Biotechnology Advances, v. 19, p. 97-107, 2001.

LOWRY, O. H. ROSEBROUGH, N. J. FARR, A. L. RANDALL, R. **J. Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent**. Journal of Bio Chem., 193-265, 1951

MARTINS, C. L., PIRES, A.S.C.D., VELHO, V. F., DUARTE, E. C. N. F. A., COSTA, R. H. R. **Avaliação do Desempenho do Processo OSA na Redução na Produção de Lodo em um Sistema de Tratamento Piloto de Lodo Ativado**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28º, 2015, Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: Abes, 2015.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: treatment and reuse**. Nova Iorque, EUA. McGraw-Hill, 2003, 4ª Edição, 1815p.

MOTTA, M. **Estudo do Funcionamento de Estações de Tratamento de Esgotos por Análise de Imagem: Validações e Estudo de Caso**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 8, n. 3, p.170-181, set. 2003.

OSELAME, M.C. **Minimização e Gerenciamento do excesso de lodo produzido em uma estação de lodo ativado por aeração prolongada, TCC - Trabalho de Conclusão de Curso**, Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

PIRES, A. S. C. D. **Aplicação do processo Oxic-Settling-Anoxic para a minimização da produção de lamas ativadas**. 2014. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2014.

RAMOS, S. R. A. **Avaliação de processo de lodos ativados com aplicação de ácido fólico como estratégia de minimização da produção de lodo.** 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SABY, S. DJAFER, M. AND CHEN, G. H. **Feasibility of using a chlorination step to reduce excess sludge production in activated sludge process.** Water Research, v. 36, n.3, p. 656-666, 2002.

SABY, S., DJAFER, M. e CHEN, G. H. **Effect of low ORP in anoxic sludge zone on excess sludge production in oxic-settling-anoxic activated sludge process.** Water Research, v. 37, p. 11-20, 2003.

SANTA CATARINA. **Lei nº 14.675, de 13 de abril de 2009.** Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e estabelece outras providências.

SEMBLANTE, G. U. HAI, F. I. NGO, H. H. GUO, W. YOU, S-J. PRICE, W. E. NGHIEM, L. D. **Sludge cycling between aerobic, anoxic and anaerobic regimes to reduce sludge production during wastewater treatment: performance, mechanisms, and implications.** Bioresource Technology, v. 155, p. 395-409, 2014.

VELHO, V. F. **Estudo da minimização da produção de lodo em sistemas de lodos ativados para esgotos sanitários.** 2015. 181 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

VON SPERLING, M. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: **Princípios básicos do tratamento de esgotos.** Vol. 2. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1996. 211 p.

VON SPERLING, M. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: **Lodos Ativados.** Vol. 4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 3ª edição ampliada, 2012. 428 p.

VON SPERLING, M. Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de**

esgotos. Vol. 1. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 4ª edição ampliada, 2014. 470 p.

WANG, J., ZHAO, Q., JIN, W., LIN, J. **Mechanism on minimization of excess sludge in oxic-settling-anaerobic (OSA) process**. Front. Environ. Sci. Engin, v. 2, p. 36-43, 2008.

WANG, Jun et al. **A modified oxic-settling-anaerobic activated sludge process using gravity thickening for excess sludge reduction**. Scientific reports, v. 5, 2015.

WEI, Y., VAN HOUTEN, R. T., BORGER, A. R., EIKELBOOM, D. H., FAN, Y. **Minimization of excess sludge production for biological wastewater treatment**. Water Research, v. 37, p. 4453-4467, 2003.

YE, F. PENG, G. LI, Y. **Influences of influent carbon source on extracellular polymeric substances (EPS) and physicochemical properties of activated sludge**. Chemosphere, v. 84, n. 9, p.1250-1255, 2011.